



УДК 621.039

О ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ АЭС С РЕАКТОРАМИ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

ABOUT OPPORTUNITY OF UTILIZATION OF LOW POTENTIAL HEAT ON FAST BREEDER REAKTORS

Попов Сергей Андреевич, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: popovs1803@gmail.com. Тел.: +7(343) 375-97-37

Ташлыков Олег Леонидович, кан-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: otashlykov@list.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

Sergey A. Popov, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: popovs1803@gmail.com. Ph.: +7(343)375-97-37

Oleg L. Tashlykov, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: otashlykov@list.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

Аннотация: Обоснована актуальность проблемы снижения тепловых сбросов в окружающую среду и повышения энергоэффективности АЭС. Рассмотрены различные способы утилизации сбросной теплоты. Приведены варианты включения тепловых насосов в схему основного конденсатора турбины. Выполнен анализ источников низкопотенциальной теплоты, сбрасываемой вспомогательными системами реактора на быстрых нейтронах.

Abstract: The urgency of the nuclear power plants thermal effluent reduction and increasing efficiency problems are substantiated. Different ways of utilization of thermal effluents are considered. Different variants of the thermal pump inclusion into the circuit of the steam turbine main condenser are presented. The analysis of low potential heat sources emitted by auxiliary systems of FBR is executed.

Ключевые слова: низкопотенциальное тепло, утилизация, атомная электростанция, реактор на быстрых нейтронах, тепловой насос, тепловые сбросы.

Key words: low potential heat, utilization, nuclear power plant, fast breeder reactor, thermal pump, heat emission.

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения эффективности в атомной энергетике рассматривают следующие пути [1]:

– увеличение глубины выгорания ядерного топлива;

– повышение установленной мощности действующих энергоблоков путем модернизации оборудования;

– повышение коэффициентов полезного действия АЭС путем совершенствования тепловых схем и термодинамических циклов;

– повышение коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ);

– снижение расходов тепловой и электрической энергии на собственные нужды АЭС;

– снижение непроизводительных расходов и потерь энергии;

– использование низкопотенциальной сбросной тепловой энергии.

Наряду с данными задачами, решаемыми эволюционным путем, рассматриваются многочисленные инновационные проекты, способные радикально повысить экологическую, энергетическую и экономическую эффективность атомной энергетики.

Технологический цикл АЭС с реакторами на тепловых нейтронах с водным теплоносителем (ЛВР) обладает следующими особенностями.

- Выбор современного давления в первом контуре реакторов ЛВР большой мощности (15,7 МПа) связан с ограничением по температуре, равным 350°C для оболочек твэлов из циркониевых сплавов. Отсюда следует, что предельная температура пара во втором контуре не может превысить 315°C в случае его перегрева. Таким образом, выбор циркониевого сплава для оболочек твэлов и повышение единичной мощности блоков практически предопределили термодинамические параметры АС с ЛВР: давление первого контура около 16 МПа, температура теплоносителя на выходе из реактора 320 – 330°C; давление и температура пара во втором контуре соответственно 6,3 – 7,2 МПа и 279 – 285°C.

- Высокая мощность турбоустановок достигается большими расходами пара, что влияет на потери тепловой энергии в конденсаторе паровой турбины. Повышенные невосполнимые тепловые потери в холодном источнике снижают экономичность работы таких энергоблоков, поэтому КПД брутто современных атомных электростанций, как правило, не превышает 32 – 35 % [3].

В реакторах на быстрых нейтронах (РБН) в качестве теплоносителя используют жидкие металлы, позволяющие отводить значительные удельные тепловыделения. В настоящее время практически во всех энергетических РБН используют жидкий натрий, температура которого на выходе из активной зоны составляет порядка 550°C (температура кипения натрия 878°C). Это позволяет вырабатывать в парогенераторах перегретый пар высоких параметров ($p = 13$ МПа, $t = 505^\circ\text{C}$), повышает термодинамическую эффективность АЭС

АЭС являются крупными источниками низкопотенциальной тепловой энергии, не пригодной для промышленного использования вследствие низкого температурного уровня $t \approx 30^\circ\text{C}$, поэтому одной из проблем функционирования атомных электростанций является чрезмерное тепловое загрязнение охлаждающих прудов и водохранилищ. В летнее время температура в некоторых из них поднимается до 35-40 °C. Однако мировой опыт показывает реализуемость на современной технологической базе возможности повышения (трансформации) температурного уровня с помощью тепловых насосов до уровня, необходимого для целей теплоснабжения, что уменьшает тепловое загрязнение и способствует существенному оздоровлению обстановки вокруг АЭС.

В настоящее время с использованием диоксида углерода в качестве рабочего тела возможно создание теплонасосных установок единичной тепловой мощностью до 100 МВт с коэффициентами преобразования механической энергии привода компрессора ТН в тепло на уровне 3,0-3,5 [2].

ВАРИАНТЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В литературе предложен ряд возможных вариантов включения тепловых насосов в тепловую схему АЭС, например вариант, когда часть отработавшего в турбине пара конденсируется в конденсаторе турбины, а часть — в испарителе теплового насоса [3]. При этом конденсат турбины перед нагревом в регенеративных подогревателях, а также сетевую воду, поступающую от потребителей, предполагается нагревать в конденсаторе теплового насоса (рис. 1).

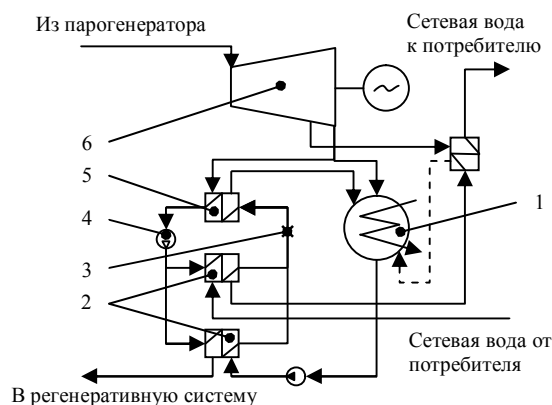


Рис.1. Схема включения теплового насоса: 1 – конденсатор турбины, 2 – конденсаторы теплового насоса, 3 – дроссель, 4 – компрессор, 5 – испаритель теплового насоса, 6 – турбина

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ

В работе [4] представлен расчетный анализ эффективности схемы включения теплового насоса на входе или на выходе конденсатора турбины по технической воде. При этом конденсатор теплового насоса подключается к системе регенеративного подогрева и заменяет первый подогреватель низкого давления. Как показывают результаты анализа, мощность, необходимая для работы компрессора теплового насоса, выше дополнительно вырабатываемой энергоблоком электрической мощности при размещении испарителя как на входе, так и на выходе охлаждающей воды основного конденсатора турбины.

С экологической точки зрения, предварительные результаты оценочных расчетов позволяют рассматривать возможность использования теплового насоса в схеме основного конденсатора паротурбинной установки для сокращения тепловых сбросов, производимых АЭС в окружающую среду. В этой же статье авторы приводят результаты расчетов, которые показывают уменьшение тепловых сбросов в пруд охладитель для реактора БН-600. Наивысшие показатели достигаются в летний период: в июле абсолютное уменьшение сбросов составляет 64500 кВт и 69500 кВт при подключении теплового насоса перед конденсатором и после конденсатора соответственно.

Несмотря на то, что тепловая мощность, сбрасываемая с охлаждающей водой из основного конденсатора турбины, составляет подавляющую часть всех тепловых сбросов АЭС, больший интерес представляют тепловые сбросы с охлаждающей водой вспомогательных систем. Среди этих систем выявлен наибольший потенциал, как по наивысшей температуре, так и по тепловой мощности [5]. Это системы охлаждения масла ПЭН с максимальной температурой охлаждающей среды 30 °С и мощностью 1450 кВт, газоохладители генераторов с температурой 29 °С и мощностью 475 кВт и система охлаждения шахты реактора с температурой 53 °С и мощностью 1250 кВт. Однако использование системы охлаждения шахты реактора в качестве источника низкопотенциальной теплоты технически затруднено.

ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРОМКОНТУРА ОХЛАЖДЕНИЯ НЕОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Система промконтуров охлаждения неответственных потребителей энергоблока АЭС с реактором БН-800 представляет собой замкнутую систему, заполненную обессоленной водой с последующим доведением качества воды до качества основного конденсата.

Насосами промконтуров вода подается на теплообменники промконтуров. Пройдя через теплообменники, вода подается потребителям. С напора насосов промконтуров по трубопроводу вода подается высоконапорным потребителям, допускающим подачу воды давлением $P=6\div 8,3$ кгс/см². После всех потребителей промконтуров вода поступает на всасывающий коллектор насосов.

Для обеспечения подачи воды потребителям, не допускающим превышения давления больше $P=2$ кгс/см² по условиям эксплуатации, вода с напора КЭН-1 по трубопроводу подается в бак запаса

воды объемом $V=4$ м³, установленный на отм.15.00, откуда вода самотеком подается к группе низконапорных потребителей.

Для обеспечения заданных расходов через потребители на сливном трубопроводе каждого потребителя устанавливается регулирующий клапан. Перелив и опорожнение бака запаса осуществляется в канализацию.

В состав системы промконтуров входит:

- 3 насоса промконтуров (2 рабочих, 1 резервный);
- 3 теплообменника промконтуров (2 рабочих, 1 резервный);
- Один дыхательный бак $V=10$ м³;
- Один бак запаса воды $V=4$ м³;
- подводящие, питающие и распределительные трубопроводы;
- электрифицированная и ручная запорная арматура;
- арматура для дренажа системы и арматура для выпуска воздуха;
- контрольно-измерительные приборы.

При нормальных условиях эксплуатации блока №4 Белоярской АЭС потребность в охлаждающей воде промконтуров в номинальном режиме составляет $Q=4300$ м³/ч. На рис. 2 в качестве примера приведена расчетная схема теплообменника статора генератора.

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ

На основании проведенного анализа для энергоблока с реактором БН-800 можно выделить в качестве наиболее целесообразных источников низкопотенциальной теплоты охладители основных ПЭН и охладители обмотки статора генератора (рис. 3).

Выбранные системы обладают высокими значениями отдаваемой тепловой мощности и имеют высокую температуру теплоносителя.

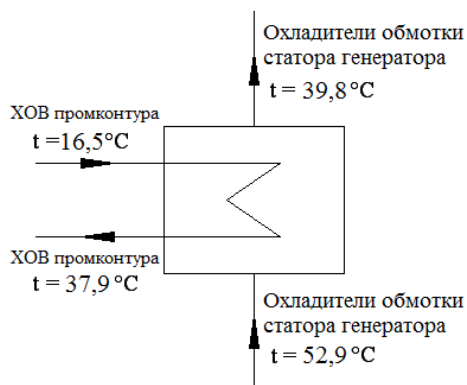


Рис. 2. Схема теплообменника охлаждения обмотки статора

Данные по системе:

$G = 166,1$ кг/с — расход технической воды;

$C_p = 4,179$ кДж/(кг·К) — удельная теплоемкость.

Тепловая мощность системы:

$$Q = G \cdot C_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = 166,1 \cdot 4,179 \cdot (37,9 - 16,5) = 14854,42 \text{ кВт} = 14,854 \text{ МВт}$$

В качестве вариантов утилизации сбрасываемой низкопотенциальной теплоты с помощью тепловых насосов можно рассматривать отопление зданий АЭС или, например, подогрев добавочной (артезианской) воды, подаваемой в систему отопления и горячего водоснабжения.

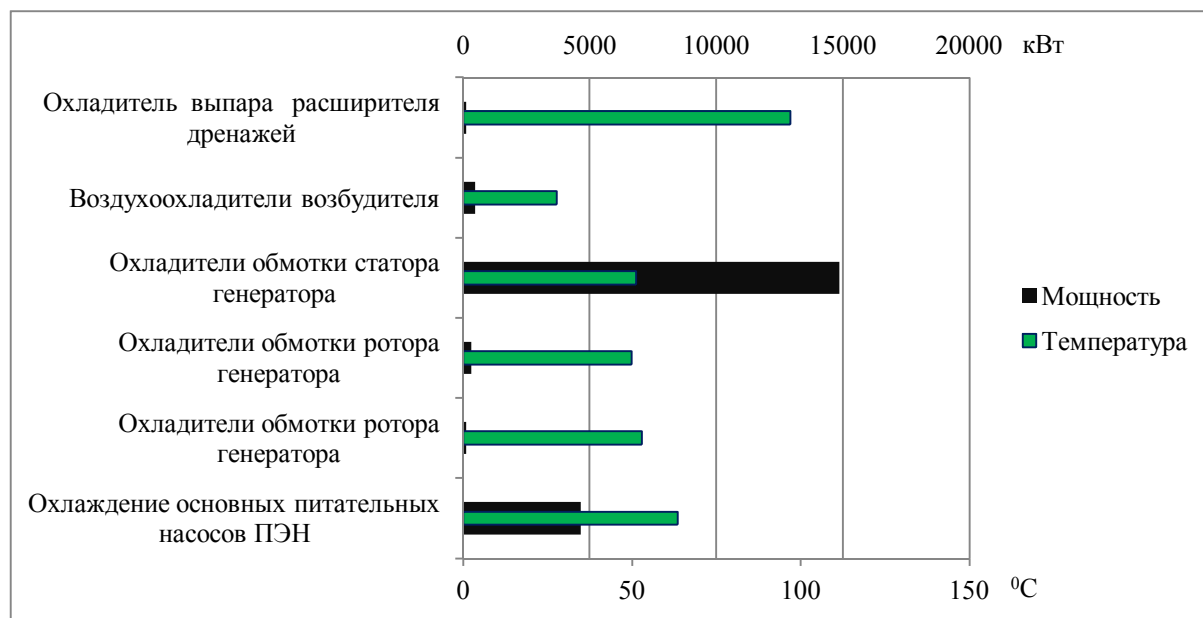


Рис. 3. Тепловые сбросы систем энергоблока с реактором на быстрых нейтронах БН-800

На АЭС имеется множество потребителей теплоты в машинном зале, лабораторно-бытовом корпусе и других зданиях (приточная вентиляция, воздушные отопительные системы, воздушные занавесы, горячее водоснабжение и т.д.). Потребляемая тепловая мощность отдельных систем может достигать нескольких мегаватт. В настоящее время теплота для этих потребителей берется из отборов рабочего пара турбины, что экономически невыгодно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Утилизация сбросной теплоты с использованием тепловых насосов позволяет уменьшить тепловое загрязнение окружающей среды и повысить энергоэффективность АЭС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л., Дубинин А.М. Повышение энергоэффективности АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2015. №4. с. 15-23
- Хрусталева В. А. Новикова З. Ю. Повышение эффективности эксплуатации энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 путем модернизации тепловых схем // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №3с (54). с. 166-173

- Патент № 2247840 Российская Федерация МПК F01K13/00. Способ работы тепловой электрической станции/ Стенин В. А. Патентообладатель и заявитель Стенин В. А. № 2003101028/06 14.01.2003. Опубликовано 10.03.2005.
- Ташлыков О.Л., Толмачев Е.М., Семенов М.Ю., Сапожников Б.Г. Снижение тепловых нагрузок АЭС на окружающую среду путем использования тепловых насосов в схеме основного конденсатора паротурбинной установки // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 16-21.
- Ташлыков О.Л., Ковин И.В., Кокорин В.В. Утилизация низкопотенциальной теплоты АЭС с реактором на быстрых нейтронах с использованием теплового насоса // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 22–25.
- Патент №81259 Российская Федерация МПК F01K13/00. Тепловая электрическая станция / Ефимов Н. Н., Лапин И. А., Малышев П. А. и др. Патентообладатель и заявитель ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)» №2007119246/22 23.05.2007. Опубликовано 10.03.2009.